

# RECONSTITUTION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN PENDANT L'HOLOCENE PAR MODELISATION HYDROGEOCHIMIQUE

par Anne Coudrain<sup>1</sup>, Michel Loubet<sup>6</sup>, Roger Guérin<sup>1</sup>, Marc Descloîtres<sup>3,1</sup>, Amal Talbi<sup>1</sup>, Jorge Quintanilla<sup>8</sup>, Emmanuel Ledoux<sup>2,1</sup>

avec la collaboration de :

David Cahuaya<sup>5</sup>, Isabelle Chaffaut<sup>3</sup>, Bernard Dupré<sup>6</sup>, Annick Filly<sup>4</sup>, Robert Gallaire<sup>3,1</sup>, Begonia Garcia<sup>3</sup>, Martine Girard<sup>3</sup>, Claude Jusserand<sup>7</sup>, Benoît Madé<sup>2,1</sup>, Ghislain de Marsily<sup>1</sup>, Johnny Martinez<sup>8</sup>, Jean-Luc Michelot<sup>4</sup>, Bernard/Pouyau<sup>3</sup>, Bruno Pratz<sup>3</sup>, Edson Ramirez<sup>3,8</sup>, Pierre Ribstein<sup>3,1</sup>, Francis Sondag<sup>3</sup>, Jean-Denis/Taupin<sup>3,1</sup>, Jean Vacher<sup>3</sup>, Gian Maria Zuppi<sup>4</sup>

des institutions suivantes :

<sup>1</sup>UMR Sisyphe CNRS-UPMC, case 123, 4 pl. Jussieu, 75 252 Paris cedex 5, coudrain@biogeodis.jussieu.fr ; Tél.: 01 44 27 70 26 ; Fax. 01 44 27 51 25. <sup>2</sup>Centre Informatique Géologique, ENSMP, Fontainebleau. <sup>3</sup>IRD, rue Lafayette, Paris. <sup>4</sup>Laboratoire Hydrologie et Géochimie Isotopique, Orsay. <sup>5</sup>ONG bolivienne, Yunta. <sup>6</sup>UMR géochimie CNRS Univ. Paul Sabatier, Toulouse. <sup>7</sup>CRG UPMC, Thonon. <sup>8</sup>UMSA, La Paz, Bolivie

## Un lieu, deux questions

L'Altiplano est un bassin endoréique composé du sous-bassin du lac Titicaca et de celui du salar d'Uyuni. Une zone de 3550 km<sup>2</sup>, située à l'amont du salar d'Uyuni, a été étudiée en détail grâce aux puits perforés par l'ONG Yunta depuis les années 1980. La salinité de l'eau souterraine variant dans l'espace dans une large gamme (0,5 à 150 mmol.l<sup>-1</sup>), la question de son origine se posait (comprendre pour mieux gérer). De plus la phase préliminaire à ce programme PNRH, grâce à un soutien de l'IRD et l'unité de recherche Sisyphe, avait permis de mettre en évidence une évolution spatiale de la composition chimique de l'eau souterraine avec une salinité et un âge croissant d'amont en aval. Le deuxième axe de recherche était de modéliser cette évolution spatiale afin de reconstituer les conditions hydrologiques sur plusieurs milliers d'années à l'origine de cette évolution spatiale. Ce travail pouvait bénéficier de nombreuses études préalables sur le lac Titicaca (Dejoux & Iltis, 1992), sur les phases lacustres du quaternaire (Servant & Fontes, 1978; Mourguiart *et al.*, 1992; Servant *et al.*, 1995), sur la géochimie des croûtes de sels (Risacher & Fritz, 1991; Risacher & Fritz, 1992) ainsi que sur l'hydrologie des glaciers (Ribstein, Tiriau, Francou & Saravia, 1995 ; Francou, Ribstein, Saravia & Tiriau, 1995).

Fonds Documentaire IRD

Cote : B\*21535 Ex : 1

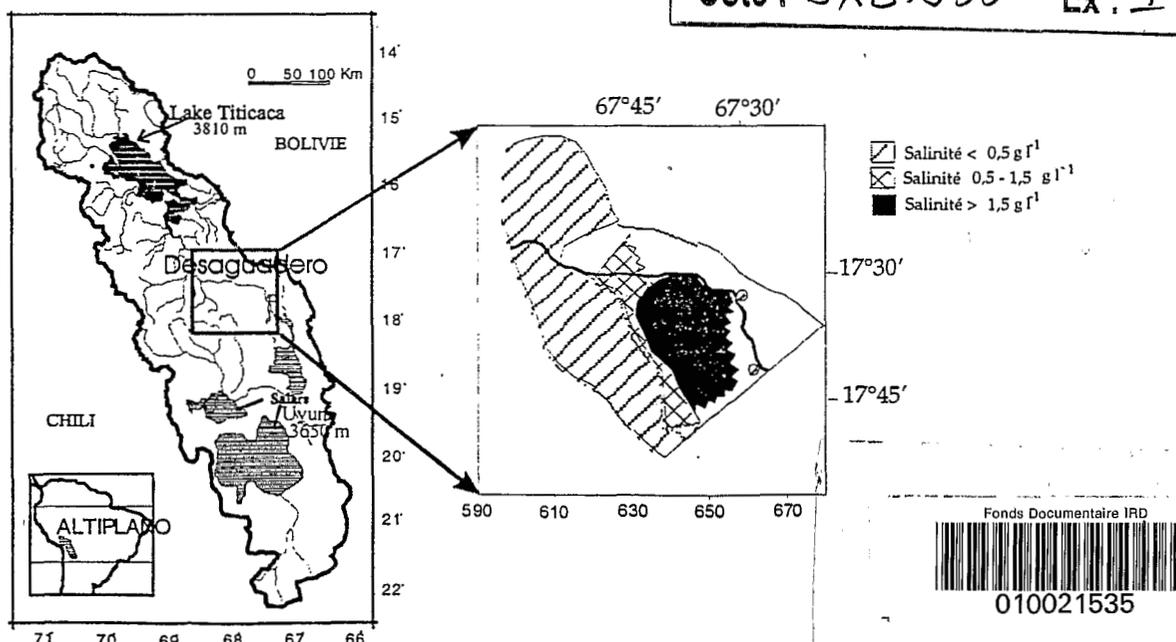


Figure 1. Altiplano et évolution spatiale de la salinité de l'eau souterraine



### Trois voies de réponse

L'acquisition de données d'hydrogéologie (piézométrie, nivellements, débits) a servi de support pour établir la dynamique actuelle de l'aquifère. Les zones de recharge ont été identifiées : piedmont par de l'eau douce sur de petites surfaces et de façon très sporadique et par un fleuve traversant la zone d'étude et qui est le seul effluent du lac Titicaca. Les paramètres hydrodynamiques ont ainsi pu être calés sur les données actuelles pour servir ensuite dans les simulations en transitoire.

L'acquisition de données de géochimie (majeurs, traces, isotopes stables de l'eau, isotopes du strontium) d'eau et de roche a permis d'obtenir des mesures locales du flux évaporatoire à partir de l'aquifère, d'apporter des contraintes pour la modélisation du transport de chlorure sur 10 000 ans.

La prospection géophysique (sondage TDEM et sondage électrique) a permis de proposer un nombre limité de "jeux" possibles de l'évolution spatiale de l'épaisseur de l'aquifère qui varie de 250 m à 10 m et de mettre en évidence un niveau extrêmement conducteur en profondeur et sur une grande surface de la zone étudiée.

### Quatre résultats d'envergure internationale

Une relation a été établie pour les zones arides qui permet de calculer le flux d'eau provenant d'un aquifère et qui est évaporé près de la surface du sol. Ce flux évaporatoire est fonction uniquement de la profondeur du niveau piézométrique sous le niveau du sol (Coudrain-Ribstein, Pratz, Talbi & Jusserand, 1998) :

$$E = 65 (\pm 7) Z^{-1.5} \quad (1)$$

avec E en mm an<sup>-1</sup> et Z en m. Cette relation a été établie à partir de données publiées provenant de différentes zones arides et à partir de données acquises sur l'Altiplano, la profondeur de la nappe étant comprise dans une gamme de 0,3 m à 20 m. Chacune des données de ce flux évaporatoire ont été déterminées sur la base de profils isotopiques de la zone non saturée. Cette relation est importante à trois titres. Pour établir le bilan actuel en eau d'aquifères de zones arides, pour quantifier l'apport en sel depuis l'aquifère vers la zone non saturée sur de longues périodes, et enfin pour reconstituer la dynamique passée d'un aquifère en zone aride. Si le principal flux sortant est celui lié à l'évaporation, il vaut mieux avoir un moyen de le quantifier.

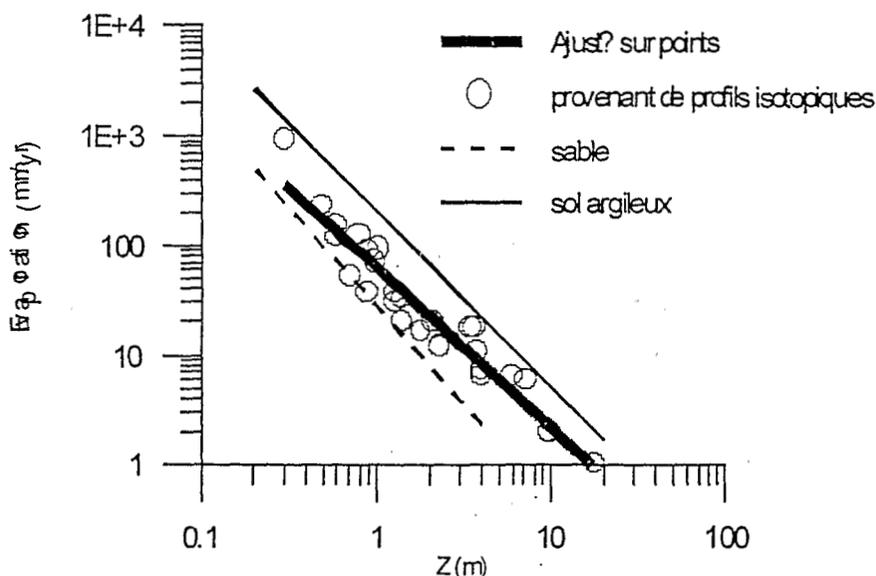


Figure 2. Flux évaporatoire (E) à partir d'un aquifère. Les courbes "sable" et "sol argileux" ont été obtenues à partir de données publiées de la conductivité hydraulique sur une large gamme de succion. En zone aride, la succion près de la surface du sol atteint plusieurs milliers de mètres.

Afin de disposer de l'évolution temporelle de la recharge vers l'aquifère pendant l'Holocène (10 000 ans), le bassin du lac du lac Titicaca a été utilisé. L'évolution reconstituée des niveaux de ce lac montre des variations de 50 m à 100 m plus bas que l'actuel pendant le milieu de l'Holocène. Un calcul de bilan a permis d'estimer que de tels niveaux peuvent correspondre à une pluie qui ne serait de  $635 \pm 50 \text{ mm an}^{-1}$  soit de l'ordre de 20% seulement inférieure à la pluie actuelle (Talbi, Coudrain, Ribstein & Pouyaud, 1999).

Sur la base des résistivités obtenues à partir de l'interprétation de sondage TDEM et des données de conductivité électrique de l'eau souterraine, un abaque a pu être construit permettant l'identification des formations du sous-sol (Descloîtres, Guérin, Coudrain-Ribstein, Talbi & Gallaire, soumis). Les résistivités des formations aquifères, sus-jacentes d'un substratum conducteur constitué d'argile et/ou de formations saturées par de la saumure (interface entre 75 et 350 m de profondeur), décroissent du nord au sud, de l'ouest vers l'est, et des faibles vers les grandes profondeurs. Un chenal situé dans la partie ouest, dont l'étendue se rétrécit en allant vers le sud, semble être le chemin d'évacuation de l'eau souterraine vers le sud. Néanmoins cet exutoire est limité par un « bouchon » hydraulique. En effet, un terrain conducteur, d'un point de vue électrique, a été identifié comme de très de faible perméabilité et saturé de saumure.

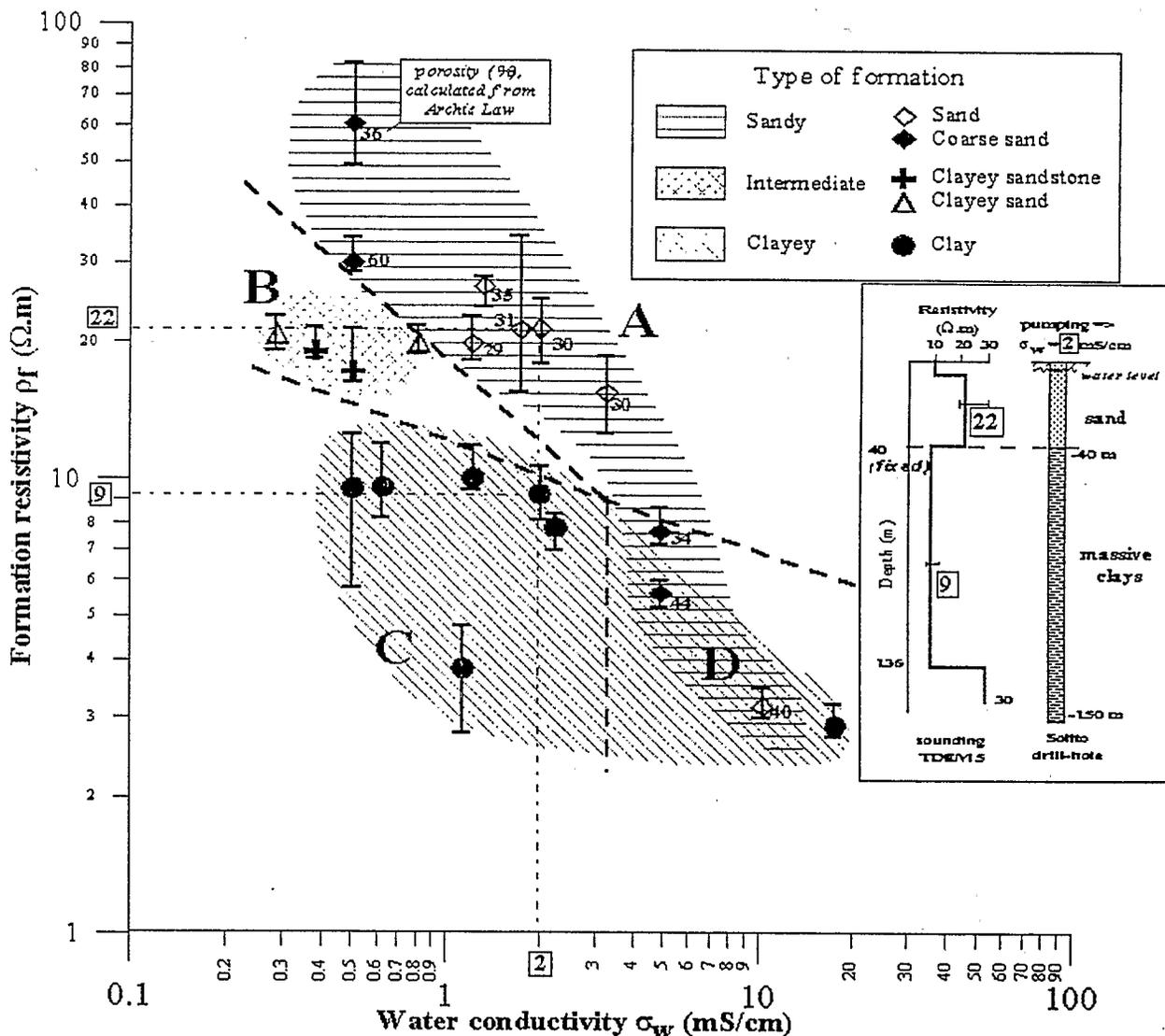


Figure 3. Relation entre la résistivité des formations et la conductivité de l'eau pour différentes natures de roche. Le graphe de droite est l'exemple d'interprétation du sondage TDEM contraint par le log géologique du forage de Solito. Les valeurs correspondant à cet exemple sont entourées sur le diagramme. Les gammes de variation des résistivités des formations sont représentées par des barres d'erreur

L'acquisition de nombreuses données hydrogéologiques et la modélisation du transport de chlorure sur 11 000 ans permettent de proposer le fonctionnement suivant (Coudrain, Talbi, Ledoux, Loubet, Vacher et al., soumis). La dernière phase lacustre (lac Tauca, 12 000 ans B.P.) a permis l'infiltration d'eau salée de la surface couverte par le lac vers le milieu souterrain. Le flux évaporatoire à partir de l'aquifère est ensuite à l'origine de l'accumulation de chlorure dans la zone non saturée pendant de longues périodes. La période plus humide vers 2000 ans B.P. est susceptible d'avoir entraîné le retour de ce sel vers l'aquifère sur l'ensemble de la surface considérée. Ce recyclage local du chlorure, entre zone non saturée et eau souterraine, en fonction des variations climatiques, et la faible valeur de la vitesse de l'eau souterraine, de l'ordre du mètre par an, permettent d'expliquer les fortes concentrations observées actuellement dans la nappe.

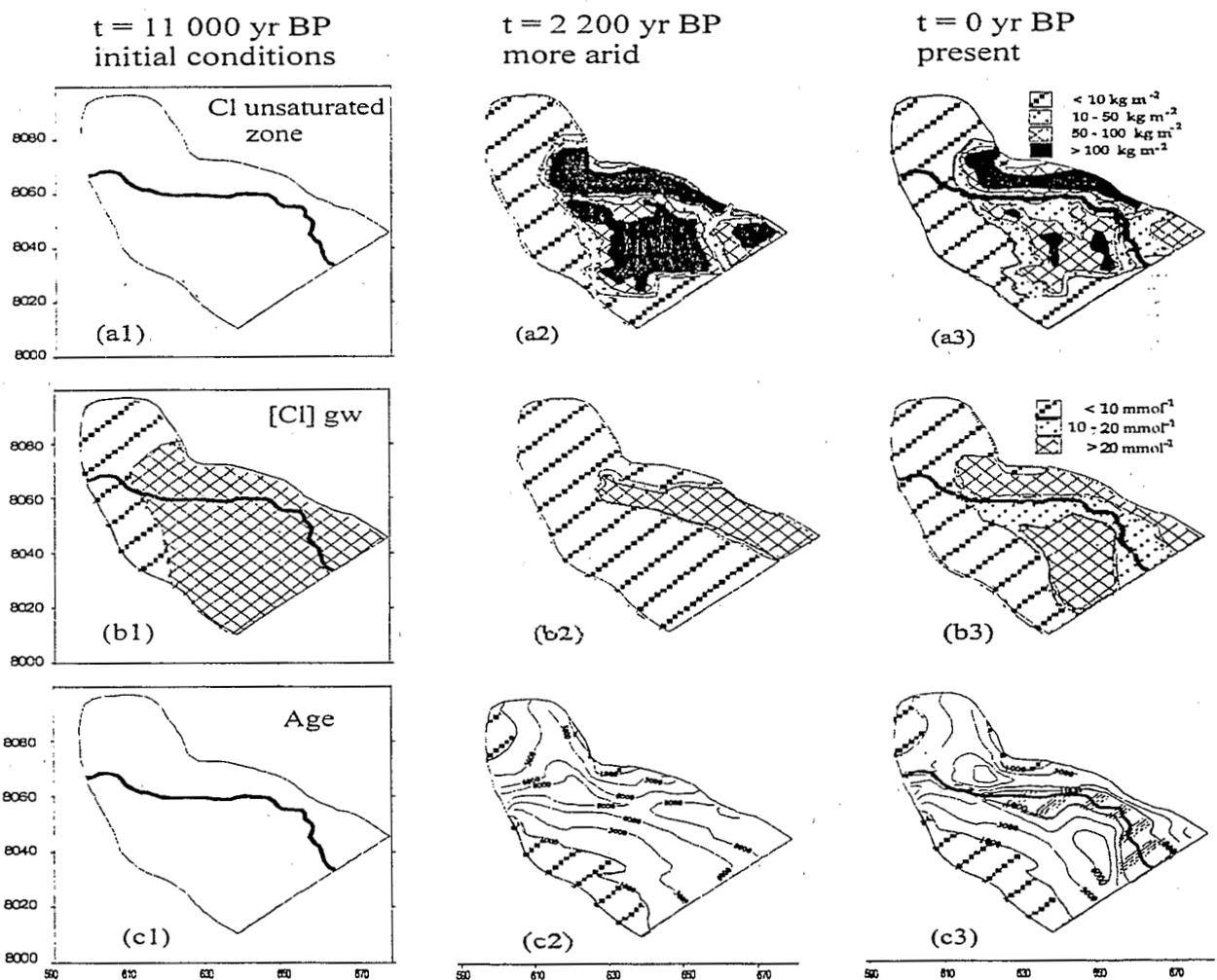


Figure 5

Figure 4. Carte de résultats obtenus par des simulations en transitoire à l'aide du modèle NEWSAM modifié pour tenir compte du flux évaporatoire depuis l'aquifère et pour simuler l'âge. (a1) - (c1) conditions initiales avec aucun sel dans la zone non saturée, concentration de  $280 \text{ mmol l}^{-1}$  dans l'aquifère où le lac couvrait le sol (3760 m). (a2) - (c2) au cœur de la phase aride le contenu en sel de la zone non saturée est grand, le "panache" d'eau salée souterraine est repoussé vers l'est alors que le fleuve Desaguadero est supposé à sec. (a3) - (c3) à l'actuel, les quantités de sel dans la zone non saturée et la concentration dans l'aquifère sont compatibles avec les observations.

## Conclusion et travaux en cours et en projet

Un modèle du fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère a été établi mettant en évidence l'importance du flux évaporatoire. Un modèle de transfert du chlorure sur 11 000 ans est proposé sur la zone d'étude. Les résultats de ce modèle dépendent de l'évolution des conditions hydrologiques (infiltration, alimentation par le fleuve traversant la zone) et constituent donc en retour un moyen de reconstituer ces conditions.

Ce programme PNRH d'hydrogéologie allié aux travaux d'hydrologie des glaciers (Great Ice, UR IRD) permettent de conforter l'intérêt de l'Altiplano comme zone clé d'étude des relations climat – hydrologie. Les résultats de ce programme PNRH Altiplano sont à la base de l'élaboration d'un nouveau projet. L'objectif est de construire un modèle hydrologique à l'échelle de l'ensemble de l'Altiplano. Ce modèle servira à simuler les phases lacustres et le transport de chlorures en souterrain et en surface afin de rendre compte du recyclage plurimillénaire des éléments chimiques à l'échelle d'un grand bassin. Il permettra de tester la cohérence des données existantes sur le fonctionnement hydrologique depuis 30 000 ans B.P. jusqu'à l'actuel. Cette approche quantitative donnera des moyens d'analyser l'inertie du compartiment hydrologique aux changements climatiques. Ce projet fait l'objet du sujet de thèse de Thomas Condom (UPMC, bourse MENRT) et d'une soumission au programme Eclipse (INSU). Plus généralement, les différents programmes d'hydrologie de cette zone contribueront à la discussion sur les modifications du climat tropical.

## Références

- Coudrain A., Talbi A., Ledoux E. et al., soumis. Long-term cycle of chloride in a closed system: Modeling of the Altiplano Basin (Bolivia) over 11 kyr. *Ground Water*.
- Coudrain-Ribstein A., Pratz B., Talbi A. et al., 1998. L'évaporation des nappes phréatiques sous climat aride est-elle indépendante de la nature du sol ? *C.R. Acad. Sci., Paris, sér. 2* **326**: 159-65.
- Dejoux C. & Iltis A. (Editors), 1992. *Lake Titicaca, a synthesis of limnological knowledge*, 1. Kluwer academic publishers.
- Descloîtres M., Guérin R., Coudrain-Ribstein A. et al., soumis. TDEM survey for groundwater in the semiarid region of central Altiplano, Bolivia. *Groundwater*.
- Francou B., Ribstein P., Saravia R. et al., 1995. Monthly balance and water discharge of an inter-tropical glacier: Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia, 16°S. *J. Glaciology* **41**: 61-67.
- Mourguiart P., Wirrman D., Fournier M. et al., 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. *C.R. Acad. Sci. Paris sér. II*(**315**): 875-80.
- Ribstein P., Tiriau E., Francou B. et al., 1995. Tropical climate and glacier hydrology : a case study in Bolivia. *J. Hydrology* **165**: 221-34.
- Risacher F. & Fritz B., 1991. Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia. *Chem. Geology* **90**: 211-31.
- Risacher F. & Fritz B., 1992. Mise en évidence d'une phase climatique holocène extrêmement aride dans l'Altiplano central, par la présence de la polyhalite dans le salar de Uyuni (Bolivie). *C.R. Acad. Sci. Paris* **314**(II): 1371-7.
- Servant M. & Fontes J.C., 1978. Les lacs quaternaires des hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléoclimatiques. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* **X**(1): 9-23.
- Servant M., Fournier M., Argollo J. et al., 1995. La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *C. R. Ac. Sc. Paris* **320**, IIa: 729-36.
- Talbi A., Coudrain A., Ribstein P. et al., 1999. Calcul de la pluie sur le bassin versant du lac Titicaca pendant l'Holocène. *C. R. Acad. Sciences, Paris* **329**: 197-203, note bilingue.

# Liste des publications du projet PNRH

## RECONSTITUTION DES ECOULEMENTS SOUTERRAINS DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN PENDANT L'HOLOCENE PAR MODELISATION HYDROGEOCHIMIQUE

### Articles des participants au projet dans le thème du projet:

- Chaffaut I., Coudrain-Ribstein A., Michelot J.L. & Pouyaud B., 1998. Précipitations d'altitude du Nord-Chili, origine des sources de vapeur et données isotopiques. *Bull. Inst. fr. études Andines* 27(3): 367-384.
- Coudrain A., Loubet M. *et al.*, en préparation. Geochemical and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  isotopic constraints on the origin of saline groundwater's from the Villaroel province in Bolivian Altiplano. *Applied Chemistry*.
- Coudrain A., Talbi A., Ledoux E., Loubet M., Vacher J. & Ramirez E., soumis. Long-term cycle of chloride in a closed system: Modeling of the Altiplano Basin (Bolivia) over 11 kyr. *Ground Water*.
- Coudrain A., Talbi A., Ledoux E., Ribstein P. & Marsily G.de, sous presse. Changements climatiques et recyclage sur plusieurs milliers d'années du chlorure entre lacs et eau souterraine: exemple de l'Altiplano bolivien. In: *Tracers and modelling in hydrogeology*, Dassargues A. (Editeur), AISH.
- Coudrain-Ribstein A., sous presse. L'eau douce ... pour qu'elle coule toujours ! *Rev. Palais de la découverte*, Article invité, Bilan XX°.
- Coudrain-Ribstein A., Pratz B., Jusserand C., Quintanilla J. & Cahuaya D., 1997. Bilan et évaporation d'un aquifère en zone aride, Altiplano central bolivien. In: *Hydrochimie*, Peters N. & Coudrain-Ribstein A. (Editeurs), AISH 244, 53-72.
- Coudrain-Ribstein A., Pratz B., Talbi A. & Jusserand C., 1998. L'évaporation des nappes phréatiques sous climat aride est-elle indépendante de la nature du sol ? *C.R. Acad. Sci., Paris (sér. 2)* 326, 159-65.
- Coudrain-Ribstein A., Sondag F., Loubet M., Talbi A., Pouyaud B., Jusserand C., Quintanilla J., Cahuaya D. & Gallaire R., 1998. Existe-t-il une mémoire des 15 000 dernières années dans l'aquifère de l'Altiplano ? *Bull. Inst. fr. études andines*, 27(3), 411-420.
- Descloîtres M., Guérin R., Coudrain-Ribstein A., Talbi A. & Gallaire R., soumis. TDEM survey for groundwater in the semiarid region of central Altiplano, Bolivia. *Groundwater*.
- Gallaire R., Taupin J.D., Coudrain-Ribstein A., Zuppi G.M. & Filly A., 1998. Variabilité spatiale de la qualité des masses d'air précipitantes en Afrique de l'Ouest : l'expérience Bénin-Niger. *AISH* 252, 259-266.
- Guérin R., Descloîtres M., Coudrain-Ribstein A., Talbi A., Ramirez E. & Gallaire R., 1999. Etude d'un aquifère salé de l'Altiplano Bolivien par prospection TDEM. *Geofcan*, 45-49.
- Pouyaud B., Francou B., Chevallier P. & Ribstein P., 1998. Contribucion del programa "Nieves y Glaciares tropicales" (NGT) al conocimiento de la variabilidad climatica en los Andes. *Bull. Inst. fr. études andines* 27, 593-604.
- Pouyaud B., Francou B., Ribstein P., Wagnon P. & Berton P., 1998. Programa "Nieves y Glaciares tropicales" (NGT): resultados (1991-1996) obtenidos en Bolivia. *Bull. Inst. fr. études andines* 27, 395-409.
- Talbi A., Coudrain A., Ribstein P. & Pouyaud B., 1999. Calcul de la pluie sur le bassin versant du lac Titicaca pendant l'Holocène. *C. R. Acad. Sciences, Paris* 329: 197-203, note bilingue.
- Taupin J.D., Coudrain-Ribstein A., Gallaire R., Zuppi G.M. & Filly A., sous presse. Rainfall characteristics ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ,  $\Delta T$  and  $\Delta H_r$ ) in western Africa, regional scale and influence of irrigated areas. *J. Geophys. Res.*
- Wagnon P. & Ribstein P., 1997. Bilan d'énergie ponctuel et saisonnalité hydrologique du glacier Zongo (Bolivie). *La Houille Blanche* 7, 83-87.
- Wagnon P., Ribstein P., Francou B. & Pouyaud B., 1999. Annual cycle of energy balance of Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia. *J. Geophys. Res.* 104(D4), 3907-3924.
- Wagnon P., Ribstein P., Kaser G. & Berton P., sous presse. Energy balance and runoff seasonality of a Bolivian glacier. *Global and Planetary change*.
- Wagnon P., Ribstein P., Schuler T. & Francou B., 1998. Flow separation on Zongo Glacier, Cordillera Real, Bolivia. *Hydrological Processes* 12, 1911-1926.

### Edition et Thèse :

- Peters N.E. & Coudrain-Ribstein A. (Editors), 1997. *Hydrochimie*. Livre Rouge AISH 244, 344 p.
- Talbi A., en cours. *Reconstitution des écoulements souterrains de l'Altiplano bolivien depuis l'Holocène par modélisation hydrogéologique*. Thèse Université Pierre et Marie Curie, Paris, bourse CNRS BDI, soutenance prévue en septembre 2000.

### Communications :

- Chaffaut I., Coudrain-Ribstein A., Michelot L. & Pouyaud B., 1997. Précipitations d'altitude, eaux souterraines et changements climatiques de l'Altiplano Nord-chilien. In: *Coll. internat. Recurso Agua en los Andes, Orstom et Univ. Catholique*, Pourrut P., Pouyaud B. & Araya J. (Editeurs), Antofagasta, Chili, 11-13 juin.
- Coudrain A., Loubet M., Gallaire R., Jusserand C. & Ramirez E., 1999. Isotopic and chemical composition of

- groundwater in Bolivian Altiplano, present space evolution records hydrologic conditions since 11 000 yr B.P. In: *Intern. Symp. on Isotope techniques in water resources development and management*, Yurtsever Y. (Editeur), AIEA, Vienne, Autriche, 10-14 mai 99, abstracts 2 p., and paper 10 p.
- Coudrain A., Talbi A., Ledoux E., Ribstein P. & Marsily G.d., 2000. Contribution of Cl transport modeling to the knowledge of the evolution of hydrological conditions over several thousand years, review and example of the Altiplano. In: *Tracers and modelling in hydrogeology*, Dassargues A. (Editeur), AISH, AIH, Conférence invitée, Liège, Belgique, 23/5 - 26/5.
- Coudrain A., Talbi A., Ledoux E., Ribstein P., Marsily G.d., Loubet M. & Ramirez E., 1999. Recycling of chloride in arid catchments during several thousand years, NGRI, Hyderabad, Inde.
- Coudrain A., Talbi A., Ledoux E., Ribstein P., Marsily G.d., Loubet M. & Ramirez E., 1999. Recycling of chloride in arid catchments during several thousand years. In: *Semaine de l'eau*, Conférence invitée, New Dehli, Inde.
- Coudrain-Ribstein A., 1996. Did the central Altiplano aquifer inherit its salinity from past lacustrine Tauca phase ? In: *Use of the isotopes for analyses of flow and transport dynamics in groundwater systems*, Yurtsever Y. & Coudrain A. (Editeurs), Conférence invitée, Paris, 2-5 déc. 96.
- Coudrain-Ribstein A., 1998. ¿ Existe memoria de los ultimos 15 000 anos en la capa freatica del Altiplano central ? In: *Hidrogeologia en el Altiplano*, Conférence invitée, La Paz, UMSA.
- Coudrain-Ribstein A., Garcia B., Pouyaud B., Gallaire R., Jusserand C., Quintanilla J. & Cahuaya D., 1997. ¿ Existe memoria de los 10 000 ultimos años en el acuífero del Altiplano ? In: *Recurso Agua en los Andes, Coll. Internat. Orstom et Univ. Catholique d'Antofagasta*, Orstom, Antofagasta, Chili, 11-13 juin.
- Coudrain-Ribstein A., Prax B., Jusserand C., Quintanilla J. & Cahuaya D., 1997. Bilan et évaporation d'un aquifère en zone aride, Altiplano central bolivien. In: *Hydrochimie*, Peters N. & Coudrain-Ribstein A. (Editeurs), Assemblée générale AISH, Rabat, 23 avril-3 mai 1997.
- Coudrain-Ribstein A., Prax B., Talbi A. & Jusserand C., 1998. Is the evaporation from phreatic aquifers in arid zone independent of the soil characteristics ? In: *XXIII Assemblée Générale de l'EGS, Symposium du programme national français en hydrologie*, Vauclin M. (Editeur), EGS, Nice, 20-24 avril, II Hydrology, p. C 523.
- Coudrain-Ribstein A., Sondag F., Loubet M., Talbi A., Pouyaud B., Jusserand C., Quintanilla J., Cahuaya D. & Gallaire R., 1998. Existe-t-il une mémoire des 15 000 dernières années dans l'aquifère de l'Altiplano ? In: *Ressources en eau dans les Andes et leur gestion dans la IIème région du Chili*, Pourrut P., Pouyaud B. & Araya J. (Editeurs), Coll. Internat, Orstom et Univ. Catholique d'Antofagasta, Chili, 11-13 juin 1997.
- Coudrain-Ribstein A., Talbi A. & Loubet M., 1998. Paleo-climatic reconstruction by modeling isotope and solute transport in an aquifer of the Bolivian Altiplano. In: *Use of isotopes for analyses of flow and transport dynamics in groundwater systems*, Yurtsever Y. (Editeur), AIEA, Conférence invitée, US Geological Survey, Reston, VA, Etats Unis, 18-22 mai.
- Gallaire R., Taupin J.D., Coudrain-Ribstein A., Zuppi G.M. & Filly A., 1998. Variabilité spatiale de la qualité des masses d'air précipitantes en Afrique de l'Ouest : l'expérience Benin-Niger. In: *Variabilité des ressources en eau en Afrique au XX<sup>e</sup> siècle*, Servat E., Hughes D., Fritsch J.-M. & Hulme M. (Editeurs), AISH, Abidjan, Côte d'Ivoire, 16-19 novembre 98.
- Guérin R., Descloîtres M., Coudrain-Ribstein A. & Ramirez E., 1999. Sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempos (TDEM) en Bolivia (en el Altiplano central y en el Salar de Uyuni). In: *Jornadas sobre Actualidad de las Técnicas Aplicadas en Hidrogeología*, Grenade (Espagne), 10-12 mai.
- Guérin R., Descloîtres M., Coudrain-Ribstein A., Talbi A., Ramirez E. & Gallaire R., 1999. Etude d'un aquifère salé de l'Altiplano Bolivien par prospection TDEM. In: *Colloque Géophysique des sols et des formations superficielles (Geofcan)*, Orléans, France, 21-22 septembre.
- Loubet M., Coudrain-Ribstein A., Pouyaud B., Dupré B. & Martinez J., 1998. Origin of salty waters from bolivian Altiplano : contribution of the Sr isotopic data and geochemistry. In: *XXIII Assemblée Générale de l'EGS, Symposium du programme national français en hydrologie*, Convener : Vauclin M. (Editeur), EGS, Nice, 20-24 avril, II Hydrology, C 525.
- Madé B., Coudrain-Ribstein A., Pouyaud B. & Quintanilla J., 1998. Characterization of waters from Bolivian Altiplano : geochemical modelling approach. In: *XXIII Assemblée de l'EGS, Symposium du programme national français en hydrologie*, Convener : Vauclin M. (Editeur), EGS, Nice, 20-24 avril, II hydrology, C 525.
- Talbi A., Coudrain A., Ledoux E., Ribstein P., Jusserand C., Loubet M. & Ramirez E., 2000. Evolution de l'hydrologie de l'Altiplano, contraintes géochimiques et hydrogéologiques. In: *RST 2000, session A2 Circulations souterraines et archives paléohydrogéologiques*, La Vilette, Paris.
- Talbi A., Coudrain-Ribstein A., Prax B. & Jusserand C., 1999. Estimation de l'évaporation à partir de l'aquifère en zone aride. In: *Coll. internat. Apport de la géochimie isotopique dans les sciences de la terre*, Zouari (Editeur), Tunisie, 6-8 avril 1999.

INSU

BRGM

CEMAGREF

CIRAD

CNES

CNRS/SPI

INRA

IRD

LCPC

METEO-FRANCE



*Colloque*  
*PNRH 2000*

**PROGRAMME NATIONAL DE RECHERCHE EN HYDROLOGIE**

Centre International de Conférences/METEO-FRANCE  
42, avenue Coriolis - 31 057 Toulouse Cedex

16-17 Mai 2000

